

有限要素法によるせん断破壊型 RC 梁の弾塑性衝撃応答解析

室蘭工業大学 学生員 佐井 拓磨
三井建設(株) フェロー 三上 浩

室蘭工業大学 正 員 岸 徳光
室蘭工業大学 正 員 安藤 智啓

1. はじめに

本研究では，静載荷時にせん断破壊型となる RC 梁の衝撃挙動を正確に評価できる簡易かつ合理的な数値解析手法を確立することを目的として，三次元有限要素法による弾塑性衝撃応答解析を試みた．本解析手法の妥当性は別途実施した実験結果と比較することにより検討している．なお，本数値解析には陽解法に基づく非線形動的構造解析コード LS-DYNA (ver.940)を用いている．

2. 解析ケース

図 - 1 には，本数値解析において対象とした RC 梁模型の形状寸法および配筋状況を示している．A 試験体にはスターラップを配置せず，B，C 試験体にはスターラップをそれぞれ 150mm および 75mm ピッチに配置している．表 - 1 に解析ケース一覧を示す．

3. 数値解析条件および仮定

3.1 解析モデル

図 - 2 には，B 試験体に関する有限要素モデルを示している．解析対象は，RC 梁の対称性を考慮してスパン方向および断面方向に 2 等分した 1/4 モデルである．適用した有限要素タイプは，スターラップ要素を除き全て 8 節点あるいは 6 節点の三次元固体要素である．スターラップ要素には計算時間を短縮するため梁要素を用いている．要素間の接触

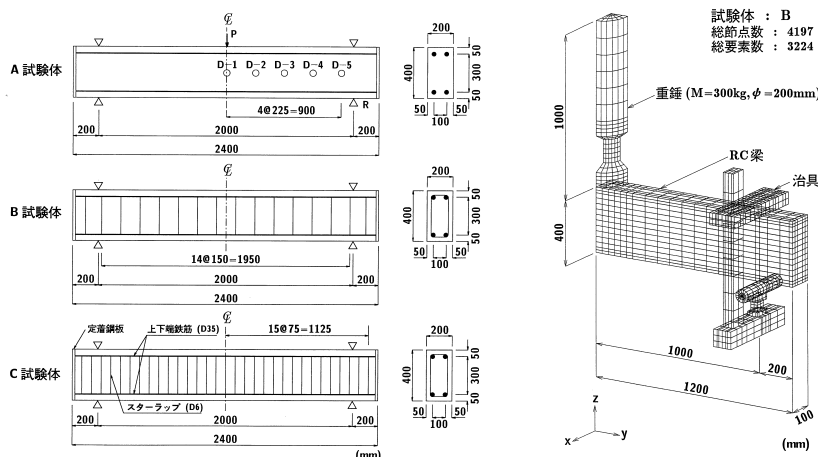


図 - 1 RC 梁の形状寸法および測定項目

図 - 2 有限要素モデル

表 - 1 解析ケース一覧

試験体名	スターラップの有無と間隔 ss (mm)	せん断余裕度 α	衝突速度 V (m/s)
A	無し	0.38	4 ~ 6
B	150	0.59	6 ~ 10
C	75	0.79	8 ~ 10

表 - 2 コンクリートの力学的特性値

試験体名	実験時 材令 (日)	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
A, C	21	30.2	22.9	0.22
B	24	40.2	26.8	0.23

表 - 3 鉄筋の力学的特性値

鉄筋名称	材質	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
D6	SD295A	366	206	0.3
D35	SD345	375		

に関しては，コンクリートと重錘および支点治具の要素間に面 - 面間の接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している．また，コンクリートと上下端鉄筋およびスターラップの要素間には，完全付着を仮定している．RC 梁に作用する衝撃荷重は，重錘要素の全節点に対して所定の載荷速度を付加する形で与えている．

3.2 材料物性モデル

コンクリート要素に用いた物性モデルは，圧縮側に対しては折線近似による相当応力 - 相当歪関係，引張側に対しては破壊圧力に達した段階で引張力を伝達しないとする弾塑性体モデルである．ここでは，表 - 2 に示す物性値に基づき 0.2% 歪時の応力を降伏応力とし，0.15% 歪に達した状態で降伏するものと仮定して完全弾塑性型にモデル化した．なお，降伏応力には圧縮強度を，引張側の破壊圧力には降伏応力の 1/10 を仮定した．一方，上下端鉄筋およびスターラップ要素には，降伏後の塑性硬化を考慮した等方弾塑性体モデルを用いている．ここで，降伏後の塑性硬化係数には弾性係数の 1% を仮定している．鉄筋の物性値を表 - 3 に示す．その他の要素に対しては弾性体モデルを適用

キーワード：有限要素法，弾塑性応答解析，せん断破壊，RC 梁

連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27 番 1 号 室蘭工業大学 建設システム工学科 Tel 0143-46-5226 Fax 0143-46-5227

した．質量に比例する粘性減衰係数は，過去の研究成果を参考にし，最低次固有振動数に対して 5% を設定した．

4. 数値解析結果と実験結果の比較

図 - 3 には，A 試験体の衝突速度 $V=5\text{m/s}$,B ,C 試験体の $V=10\text{m/s}$ の 3 体に関する各種応答波形を実験結果と比較して示している．図より，重錘衝撃力波形および片側支点反力波形に着目すると，いずれの試験体においても，両者の波動は立ち上がりから減衰に至るまで比較的良く一致していることがわかる．一方，載荷点変位波形に着目すると，最大値までの立ち上がり勾配に関してはいずれの試験体においても解析結果は実験結果をほぼ再現している．しかしながら，残留値に関しては解析値が実験値よりも大きく評価されている傾向が見られる．

図 - 4 には，全試験体の各特性値の最大値に関する数値解析結果と実験結果を比較して示している．図より，実験結果の損傷が著しい A 試験体の衝突速度 $V=6\text{m/s}$ における最大載荷点変位を除くと，両者の各最大値の差は 15% 程度以下であり，比較的類似していることがわかる．

図 - 5 には，RC 梁の最大応答変位時における梁側面の第 1 主応力分布を実験終了後の RC 梁側面に発生したひび割れ分布と重ねて示している．図中，緑色の等色領域がひび割れの発生箇所と相当している．ここでは A 試験体の衝突速度 $V=5, 6\text{m/s}$ および B , C 試験体の $V=10\text{m/s}$ の 4 体について検討を行う．A 試験体について見ると，載荷点部から支点部に至るアーチ状のひび割れ分布や，載荷点部梁下縁から垂直に進展している曲げひび割れ分布の傾向は両結果で一致している．B , C 試験体について見ると，実験結果は載荷点部から支点部に至る直線的な斜めひび割れを呈しており，数値解析結果はこのようなひび割れ分布も非常に良く再現していることがわかる．

5. まとめ

本研究では，静載荷時にせん断破壊型となる RC 梁に対して，提案している数値解析手法を適用した弾塑性衝撃応答解析を試み，実験結果と比較することによりその適用性について検討を行った．検討結果，本数値解析手法を用いることにより，静載荷時にせん断破壊が卓越する RC 梁の各種応答性状は，実験結果を比較的精度良く推定可能であることが明らかとなった．

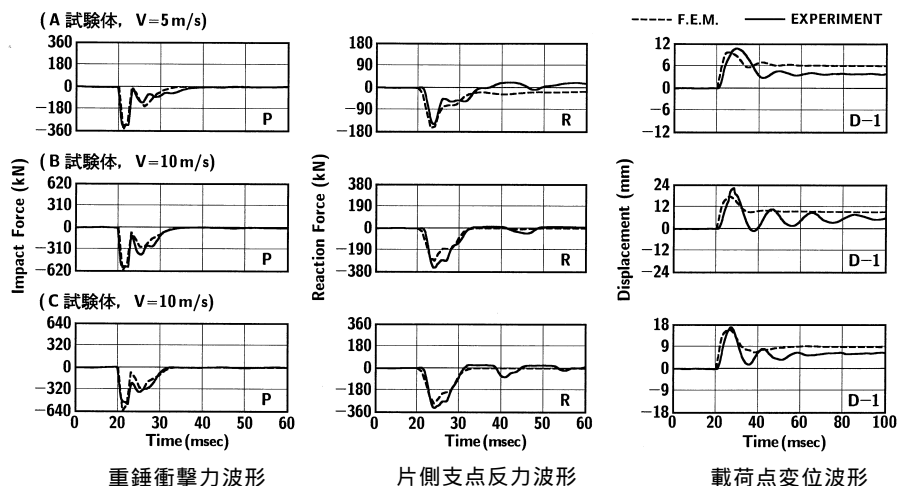


図 - 3 各種応答波形に関する数値解析結果と実験結果の比較

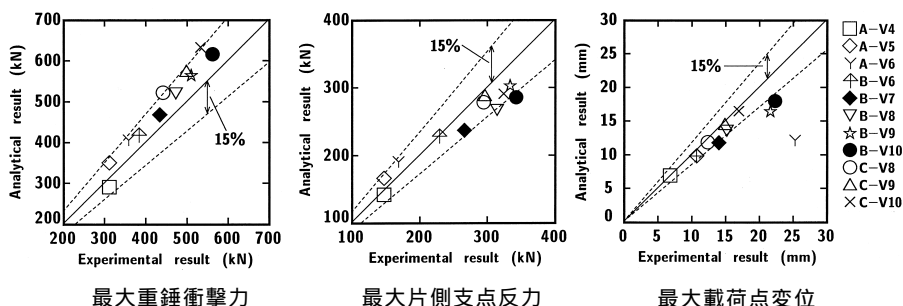


図 - 4 各特性値の最大値に関する数値解析結果と実験結果

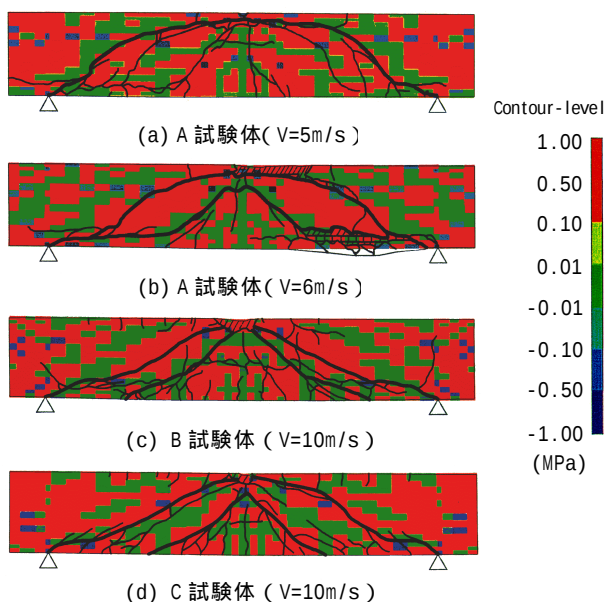


図 - 5 コンクリート（梁側面）のひび割れ分布の比較